# 我国国立科研机构全链条式创新的模式研究

## ——以中国科学院物理研究所的锂离子电池研究为例

文 亚* 黄学杰 朱春丽
中国科学院物理研究所 北京 100190



摘要 全链条创新经历基础研究到最终产业化，周期长，涉及核心关键技术多，是国家实现创新驱动发展的重要路径之一。但是要实现全链条周期的穿越，以及从学术界到产业界的跨越，涉及科技、市场、评价、人才等众多要素，是一个复杂和充满挑战的过程，锂离子电池技术的研究以及产业化就是一个典型的例子。中国科学院物理研究所在过去40余年中，围绕锂离子电池领域进行了很多有益的探索，对全链条创新所需的生态和条件积累了一些初步认识。文章通过对该过程的梳理与分析，对新时期科研机构探索践行创新驱动发展战略提供可供借鉴的经验。

关键词 锂离子电池，基础研究，产业化，人才培养

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2019.12.015

2019年诺贝尔化学奖授予了John. B. Goodenough、Stanley Whittingham和Akira Yoshino，颁奖的标题是“他们创造了一个可充电的世界”，以表彰他们为锂电池的发展所作出的贡献。获奖者之一Goodenough教授获奖时已97岁高龄，也是历史上诺贝尔奖获得者中最年长者。从Goodenough最早的工作发表到被授予诺贝尔奖，经历了39年的历程，这不仅突出了锂电池研究的科学重要性，更显示了近10余年来全球锂电池产业的极大发展，以及所带来的对人类现代社会生活的重要改变，实现了关键核心技术完整的全链条式创新。在我国，从20世纪90年代锂离子电池商品化开始，到如今锂离子电池被广泛应用到消费电子、电动汽车和储能领域，国内科研机构和企业都作出了值得称道的成绩。2018年全球动力电池装机量达92.5 GWh，同比增长45.8%。全球排名前10的动力电池企业中，我国企业的市场占有率达到88.7%；宁德时代、松下、比亚迪连续2年抢占全球市场前3位，其中宁德时代和比亚迪都是中国本土企业[1]。

*通讯作者
修改稿收到日期：2019年11月24日

全链条创新涉及科研与产业，有研究机构和企业参与，往往还有政府参与和引导，目标是要形成自主核心技术，乃至形成技术标准体系[2]。在当今时代，涉及关键核心技术全链条式的创新是国家竞争力的重要组成部分，是“买不来、要不来、讨不来的”[3]。企业的创新主体地位和主导作用需要增强[4]，但同时科研机构也被赋予了创新的重要责任与使命。对于国立科研机构而言，如何实现从基础研究到产业技术的全链条式创新，是一个非常重要且困难的命题。中国科学院物理研究所（以下简称“物理所”）是我国在锂离子电池领域从事学术研究和参与产业发展的重要机构之一。本文主要结合物理所几十年来锂离子电池从基础研究到产业化的进化历程，对新时期科研机构探索践行创新驱动发展战略做了一些粗浅的探讨。

## 1 基础研究是革命性技术的重要源头

基础研究是科技创新的总源头[5]，具备扎实的基础研究积累才能衍生出革命性新技术，锂离子电池研究同样如此。关于锂离子电池的研究，诺贝尔奖委员会第一句话就如此评价：“轻量化、可充电和大功率的电池，现在被用在从移动电话、电脑到电动汽车等一切东西上。而且它可以用来存储太阳能和风能等，使（人们）摆脱化石能源成为可能。”[6]诺贝尔奖备受关注，细分诺贝尔科学奖的百年历史，会发现有几个大类的差异。最大的一类工作是做出了重大的科学发现，将人们对自然的认识推进了一步，如X射线、光电效应、宇称不守恒定律、量子霍尔效应、引力波等；第二大类的工作是为世界带来了革命性的技术，深刻地改变了社会，如三极管、巨磁阻效应、蓝光半导体等。这些工作一开始都属于基础研究范畴，选题都源自科学家的兴趣。随着研究的推进，第一类工作的成果取得了科学界同行的高度认可甚至被写进了教科书；而第二类工作则有较明显的应用前景并进一步延伸到产业界，实现了革命性应用，这类工作的链条和研究周期往往更长。例如，巨磁电阻效应被授予2007年度诺贝尔物理学奖，表彰“他们在19年前各自独立发现了巨磁电阻效应，为现代信息技术，特别是为人们今天能使用小型化、大容量的硬盘以及在各种磁性传感器和电子学领域的发展和应用中所作出的奠基性贡献”[7]。又如，蓝光半导体，在诺贝尔奖官网上被如此评价——“红光和绿光二极管已经伴随我们半个世纪了，但蓝光才是真正带来革命性变化的技术。只有这三原色的灯光才能形成白光，照亮我们的世界。这3位学者在学术研究和工业界的持续努力，解决了这个过去30多年来一直存在的难题……”[8]。锂离子电池的工作更加接近第二类的情况。Goodenough关于钴酸锂正极材料的工作发表于1980年，随后可商用锂离子电池系统的研究成果开始积累。这些正极材料的研究成果，最终指引吉野彰（Akira Yoshino）于1983年制备出了第一个可充电锂离子电池的原型。索尼（Sony）公司在这项成果的基础上，研究出可实用的锂离子电池并于1991年开始商业化生产，标志着锂离子电池时代的开始[9]。

物理所的锂电池研究可以追溯到20世纪70年代——1976年底，陈立泉①赴德国斯图加特的马普协会固体所（Max Planck Institute for Solid State Research）进修，他很快发现该所几乎全都在研究 $Li_3N$ 晶体。这是一种被称为快离子导体的固体材料，据说可以用来制作汽车的固体电池。这类材料的一个亚晶格是高度无序的，具有独特的物理性质，其离子电导率很高，与液体电解质相近。由此，一个新的学科——固体离子学正在形成。经过思考并征得物理所同意后，陈立泉迅速转到这个新的学科方向。1978年，陈立泉回国后继续研究并成立了固态离子学

① 在中国率先开展锂电池及相关材料研究。在国内首先研制成功锂离子电池。解决了锂离子电池规模化生产的科学技术与工程问题，实现了锂离子电池的产业化。2001年当选为中国工程院院士。2007年获国际电池材料协会终生成就奖。

实验室，主持并承担了中国科学院“六五”“七五”和“八五”期间的锂离子导体研究重大项目。1980年，物理所关于离子导体的第一篇文章发表，题为 *Lithium Ionic Conductivity of LISICON Single Crystals*。这篇文章主要研究了锂离子在锗酸锌锂（LISICON）型单晶离子导体中的传输行为。1984年中国第一部专利法诞生，1987年物理所申请了第一个锂离子电池相关专利——“锂型蒙脱石固体电解质的制造方法”，并获得授权。1986年3月，我国启动了“863”计划，聚合物锂电池成为重点课题之一，由陈立泉担任项目总负责人，组织了全国11个单位参与锂电池关键材料研究。

与世界上其他科研机构的著名锂离子电池研究小组一样，物理所的“锂电团队”始终扎根基础研究，并与所内外的科学家开展非常广泛的讨论与合作，包括纳米科学、电子显微镜学以及理论物理学等。之后，锂离子电池研究成为物理所基础研究板块中非常重要的一个部分。1976—2019年，物理所锂离子电池研究小组累积发表了538篇文章，申请了173项专利。以锰酸锂为例，物理所团队第一篇锰酸锂表面改性的论文发表于1994年，最近一篇文章发表于2017年；截至目前共32篇文章，申请专利6项。以硅负极材料为例，物理所团队第一篇纳米硅负极材料的文章发表于1999年，研究持续至今；截至目前已发表文章43篇，申请专利6项。其中部分文章发表在 *Physical Review B* 等期刊上，属于非常基础性的研究工作。

得益于国家各部门的支持，物理所快离子导体和固态电池团队能够进行比较长周期的基础研究探索。虽然出现过资金困难期，但是基础研究从来没有中断过。这为锂离子电池技术的研发和生产提供了知识、技术、设备和人才等全方位的储备，中国早期的部分锂离子电池商业化极大地得益于这一阶段的积累。但是在早期，国家专门对于锂离子电池研究的投入非常有限，来自市场的对于锂离子电池研究的投入更少。物理所课题组承担了很多非锂离子电池研究方向的课题，目的就是获得足够的资源维持课题组运转和开展基础研究，这种局面一直持续到20世纪90年代初。对于国立科研机构来讲，要产生全链条式的科研成果，宽松的学术氛围也是另一个极其重要的因素：因为在长周期研究中，如果缺少宽容度，“丑小鸭就没有机会变成白天鹅”。

## 2 引导与催化，等待市场需求与技术进步周期叠加的时间窗口

从1991年第一块商用锂离子电池出现至今的近30年里，锂离子电池产业一直在加速跑，而最近10年是高速发展期。在以中、日、韩三国为主的角逐中，3个国家的角色在不断变化。索尼等日本企业培育了锂电池的相关市场，推动了智能手机和纯电动汽车（EV）等的发展[10]。目前，全球锂离子电池产业主要集中在中、日、韩三国。从2015年开始，在中国大力发展新能源汽车的带动下，中国锂离子电池产业规模开始迅猛增长，当年中国就已经超过韩、日跃居至全球首位，并逐步拉大差距[11]。相较于日、韩，中国企业数量大，技术水平参差不齐，主要依靠更高的性价比优势逐步进入市场，但市场占有率上升缓慢。

除了消费电子等需求外，全球对于环境保护的生态需求越来越突出，这直接加速了锂离子电池巨大市场的形成。2012年7月以来，国务院印发《节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020年）》，支持以纯电动汽车为新能源汽车发展和汽车工业转型的主要战略取向，重点推进纯电动汽车和插电式混合动力汽车产业化。国内的企业在动力电池领域迅速崛起，登上国际竞争舞台。中国新能源汽车2018年销量达到125万辆，占中国新车销售比例的4.4%以上。全球2018年新能源汽车销量都在加速，主要销售量达到200万辆。截至2018年底，全球新能源汽车累计销

售突破550万辆，中国占比超过了53%，也为世界范围内的节能减碳、应对气候变化作出了新的贡献[12]。如此巨大而快速发展的中国锂离子电池市场，以及世界最大的本土锂离子电池制造业规模，为国内科研机构参与新技术产业化，并获得相得益彰的、快速而扎实的发展提供了机遇与条件。

在产业发展的初期，尤其是市场还没有形成的时候，很难清晰地看到几十年后的局面；或者即便看到了，能否生存下去也尚且未知。因此，在这个过程中，不断地挖掘想象空间，对于锂离子电池企业以及科研机构一步一步走下去非常重要。物理所第一家锂电池产业化公司成立于1997年，由陈立泉和黄学杰牵头发起，是我国最早开始“吃锂离子电池产业化这只螃蟹”的企业之一。随后陈立泉和黄学杰又牵头于1999年发起成立北京星恒电源公司，瞄准动力锂离子电池进行开发。应该说在“吃动力电池这只螃蟹”上，物理所也是先行者。在当时我国汽车普及率还不高的时候，敢于将动力电池瞄准电动自行车和混合电动汽车驱动，物理所的确算得上是先锋。当然，在整体锂电池历史的发展过程中，第一个发展契机还是来自消费电子领域。尤其是随着早期以苹果、三星等为代表的智能手机的崛起，在完成了对前一代数字电话迭代的同时，也提出了对于更大能量密度电池的需求，锂离子电池由此进入飞速发展期。之后，随着以特斯拉为代表的电动汽车的发展，国外各大汽车厂家，以及国内的比亚迪、北汽、上汽、广汽、江淮等加速布局，彻底拉开了锂离子电池加速发展的大幕。在新能源汽车行业的带动下，中国动力电池产业进入迅速发展期。据不完全统计，2018年国内锂离子电池产业公开报道的投资项目超过110个，合同投资金额累计超过了3 300亿元人民币[11]。

陈立泉在2006年中国工程院咨询报告中提出发展锂离子电池驱动电动汽车，又于2017年先后提议发展锂离子电池驱动电动船舶、电动飞机等。对于科研机构而言，每一次想象空间的扩展，都意味着课题组布局的进一步完善，而深厚的积累则是其必要前提，否则就是“拿来主义”，无本之木。2009—2019年，物理所固态离子学课题组相继牵头承担了“下一代锂离子电池材料物理问题研究”“长续航动力锂电池项目”“基于复合固态电解质的电动汽车用固态锂离子电池研制”“高安全固态储能电池技术”等一批国家和地方重大重点项目，深入锂离子电池研究。2018年，物理所以7 835万元人民币的价格出售了苏州星恒电源有限公司的股权。该公司相关技术的产业化历时19年。虽然产业化收益额度是有限的，但是参照高风险、高淘汰率的高科技公司产业化来说，物理所作为国立研究机构，早期的推动示范作用极其明显，从而吸引了市场力量对锂离子电池行业的关注和后续投入。

从某种意义上讲，物理所以及从物理所孵化出的企业，是我国锂离子电池产业大环境的培养者与伴随者之一，并始终贯穿其中。对于核心技术的研发而言，市场需求与技术进步两个周期叠加窗口出现的时候，创新的链条就加速往后生长直到完成创新的全链条，这是“天时”。在等待“天时”的过程中，国立科研机构可以发挥引导者和一定的催化剂作用。

## 3 学术界与产业界闭环交融的生态支撑，促进产业技术的迭代与进化

从1991年开始，近30年来锂离子电池研究不断进行持续的技术方案的选择与迭代。*锂离子电池技术的发展，离不开学术界与产业界闭环交融的小生态；此外，技术本身的加速迭代发展也离不开这个生态的支撑。*作为科研机构，物理所开始探索相关技术走向产业界的时间较早。1996年1月，A型锂离子电池研究通过中国科学院院级鉴定；1997年9月，启动18650型电池中试，成立北京富利龙电池有限公司；1998年8月，推出NP2000广播级摄像机专用锂

离子电池；1998 年 12 月，年产 20 万只 18650 型锂离子电池中试线通过验收；1999 年成立北京星恒电源有限公司，吸引成都地奥集团等社会资本共同加入。2003 年 12 月，联想入资成立苏州星恒电源有限公司，开始了车用动力电池的产业化进程，推动了长三角地区锂离子电池产业的发展。

科研机构需要主动将研究成果推向市场，新技术的迭代也离不开学术与产业融合的小生态。科研机构在技术迭代中的贡献表现为多种形式，有时候是直接的专利授权，有时候是技术方案选择的判断，有时候是关键技术人才的培养。之所以强调这种小生态，是因为很多生产工艺问题的下层是技术方案，技术方案的下层是科学问题。产品性能的提升意味着底层透彻的科学问题的研究，以及对技术的深入理解。找准问题，以应用为导向，兼顾演进式技术发展和革命式技术发展模式，提出解决方案，是保证产业可持续发展的关键所在。

以纳米硅负极材料为例，物理所从 1997 年开始历经了 20 余年的研发，从原理上阐明了硅基负极材料在充放电过程中的体积形变、表界面反应机理、锂离子存储机理等，为硅负极材料的理性设计提供指导。2010 年，物理所启动纳米硅负极材料产业化研究，针对硅负极材料的问题针对性地提出了多种解决方案。第一代产品“元宵”结构，将硅和碳进行复合，采用碳包覆的工艺。该方案研发的材料具有结构稳定、循环稳定较好的特点，但承压较低的“短板”限制了其在高比能电池中的应用。2013 年以来，硅负极材料产业化推进获得了中国科学院战略性先导科技专项的支持，物理所开发了第二代“核桃”结构，提升了硅基负极材料的性能。然而，该结构首周效率还不够高，长循环稳定性的问题依然没有很好解决。针对这些问题，又通过对材料进行改性以及改进制造工艺等，研发了多种结构的材料，如“鱼皮花生”结构等，并持续不断改进。目前，由物理所李泓牵头，基于物理所研发技术的江苏溧阳天目先导电池材料科技有限公司生产的硅负极材料已通过多家优势电芯企业的测评，形成了稳定供货。2018 年，物理所胡勇胜牵头建设世界首座 100 kWh 钠离子电池储能电站，标志着我国率先实现了钠离子电池储能电站的示范运行。

在从基础研究到技术升级的闭环发展，以及以市场需求为导向而产生的产品迭代中，扎实的基础研究和应用基础研究是关键。没有这样的积累，一步即踏空，产业容易产生断层。自 20 世纪 90 年代至今，物理所先后以技术出资成立了 6 家企业，估值合计 3.995 亿元人民币，将多年的应用基础研究积累推向产业化。

## 4 培养人才是关键要素，要从学术评价转向市场评价

物理所之所以能在这一轮锂离子电池产业的快速发展中抓住机遇，最重要的原因是起步早、积累扎实并培养了一大批青年锂离子电池人才。在陈立泉、黄学杰、李泓、胡勇胜几代研究人员先后努力下，物理所建立了一个聚焦锂离子电池及其关键材料研究的小复合学科群，包括凝聚态物理、电化学、理论物理、材料科学等。此外，随着硅负极材料、固态电池、电池诊断测试平台等初创企业的建立，逐步形成了一个学术界与产业界互动的良好生态。

1989—2019 年，物理所锂离子电池团队先后培养硕士和博士研究生（含联合培养）143 名，平均每年毕业学生约 5 人，其中最多的一年培养学生 17 人；其中，60 余名毕业生留在高校和研究机构从事教学科研工作，70 余名毕业生直接加入到企业，包括目前世界动力电池行业市场占有率排名第一的企业——宁德时代；获得博士学位的毕业生，大部分都从事与锂离子电池科研或产业有关的工作。

物理所在该领域人才培养的目标与职业选择的契合度非常高。从研究生培养的布局上来讲，锂离子电

池团队的几位博士生导师，各自都有明显的侧重，分别包括锂离子电池、下一代金属锂电池、新型储能电池、失效机理研究等方向，并在自己感兴趣的方向上持续培养学生。这些领域涵盖了锂离子电池最主要的几条技术路线的方向，并得到不断完善。因此，在产业的方向发生调整的时候，总是能够有相关的人才补充，实现接力跑。

随着国家关于科技成果转移转化配套激励政策的落地，广大科研人员职务发明创造转化为生产力的贡献得到了充分的认可，因此科研人员参与产业化的积极性被极大地调动起来了②。但是单凭热情还不够，还需要充分地向市场学习，尊重市场评价，与企业家做好分工配合，真正将科学家的才能与企业家的才能结合起来，形成合力，获得市场的认可。物理所锂离子电池团队从1997年开始产业化，对于市场评价机制有了充分的了解；在物理所5—6年学习期间的熏陶，也为希望参与产业技术发展的学生提供了适宜的氛围和条件。2015年，物理所与宁德时代签订协议，共建北方联合实验室。在这个合作过程中不仅仅开展了技术的研发与交流合作，而且也向行业标杆企业学习到了市场经营的一些规则。

*产品所需要的创新技术的迭代更新不能仅仅源自实验室或科学研究的视角，还要从市场中去寻找。*重视创新、善抓机遇、敏锐的洞察力，是产业化中不可或缺的因素，要实现“以人才为本的自由探索型基础研究”和“以实际应用为目标的基础研究”的融合与接力[13]。在研究机构内部从事基础研究和应用基础研究的时候，评价的标准主要还是侧重于学术评价；而一旦开始公司化运行推进产业化，评价的标准就要及时地转换为市场评价。从学术评价转向市场评价，意味着研究工作将会经历从基础研究、应用基础研究、技术开发、工艺开发、产品研发等全链条和长周期，这需要一代一代人接力，需要不断培养人才。只有不断地培养优秀人才，才能实现全产业链的穿越，否则很可能在产业发展窗口期到来之前就终止了。

## 5 进一步开展前瞻性研究与展望“电动中国”

正如诺贝尔奖颁奖委员会所说的那样，锂离子电池研究创造了一个“可充电的世界”。目前，锂离子电池的应用已经极大地改变了我们的生活，从几乎人手一部的智能手机，到我国开始大力推动的电动汽车等。2017年，陈立泉提出了“电动中国”的概念，其中包括消费电子、能源、交通等行业，这再一次拓展了行业的想象空间。同时，对于国立研究机构而言，物理所需要再一次开启更进一步的前瞻性研究工作。下一代的产业技术，主体将会继续围绕以下3个方向发展，同时也是产业竞争对手们争夺的焦点。

*（1）电池的安全性。*这是从市场反馈给厂商和研究机构的一个重要问题，原则上也是一个“一票否决”的问题。每一次智能手机和电动车自燃，消费者或者媒体的反馈，都会引发一次社会关注，同时引发一次产品和厂家的洗牌，进而影响技术方案的选择。为从根源上探索解决电池安全性的问题，物理所已经布局全固态电池研发，创新性地提出了“原位固态化”方案，发展混合固液电解质电池及全固态电池技术，在提升能量密度的同时提高安全性。目前通过对高镍三元材料进行表面改性，所研发的电池已经能通过“针刺”试验。

*（2）电池续航能力。*在消费电子领域，高能量密度是锂离子电池发展始终追求的方向，尤其是随着5G应用场景的逐渐增加，更多更好使用体验的应用的出现，会对智能手机等移动终端的续航能力提出一个数量级的增长需求，也可以说是一个“无底洞”。在这个领域物理所已经开发高能量密度锂离子电池，

② 2015年8月，《中华人民共和国促进科技成果转化法》修订后出台；2016年3月，《实施〈中华人民共和国促进科技成果转化法〉若干规定》出台。

未来会在很长的时间都是行业与科研关注的焦点，尤其是如何破除目前的电动车“里程焦虑”的问题，以及更进一步实现电动船舶和电动飞机等，在大交通领域发挥替代性作用。此外，物理所还布局了兼具高能量密度、高功率密度的电池技术，从材料设计、电芯工艺、性能验证等多方面稳步推进“双高”电池的应用进程，已在无人机上开展测评，续航时间提升20%。

（3）*产业化平台前瞻布局*。为了更好地配合前瞻性研究的布局，物理所在北京怀柔科学城布局了清洁能源材料测试诊断与研发平台；在广东省松山湖材料实验室建设了新型锂离子电池材料研究团队；在江苏省溧阳市布局了以锂离子电池应用为核心的产业化基地。同时，整合京津冀、粤港澳大湾区以及长三角地区的研究与产业资源，希望能够为我国的锂离子电池以及相关新能源产业的发展贡献力量。

## 6 经验总结

在过去40余年里，物理所锂离子电池研究是一次从基础研究到应用基础研究再到实用化生产的全链条式的创新研究工作的探索。从时间周期上正好处于国家自改革开放以来科学技术研究工作与市场飞速发展的时期，取得了一定的成绩。展望新时代，为了更好地实践创新驱动发展，为建设世界科技强国贡献力量，国立研究机构使命重大。

分析国立科研机构参与实践创新全链条的过程，需要关注3个必要条件：① 透彻的基础研究是支撑革命性技术的根基所在，否则技术就是无本之木和无源之水；② 产业界与学术界交融的环境是科研机构新技术产业化必不可少的土壤，是完成全链条后半段必须经历的过程，市场规律是关键的法则；③ 考虑到全链条创新的长周期，持续不断的人才培养与接力赛是必不可少的保障。全链条式创新很难从一开始就规划出清晰的路径图，但是如果具备完整的创新要素，可以促进其进化或者生长出来。

作为国立科研机构类的研究所而言，最重要的是与政府、企业等配合，营造氛围和环境，形成适合的创新生态，提高成功率、效率并缩短周期，使更多的革命性技术在我国产生并成为重要的社会生产力。

## 参考文献

1 艾媒前沿科技产业研究中心. 2019全球及中国汽车动力电池行业研究与商业投资决策分析报告. [2019-05-06]. https://www.iimedia.cn/c400/64257.html.

2 胡卫. 以全链条创新推进自主创新. 创新科技, 2010, (10): 26-27.

3 习近平. 在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上的讲话. 人民日报, 2018-05-29.

4 国务院. “十三五”国家科技创新规划. [2016-07-28]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-08/08/content_5098072.htm.

5 王志刚. 基础研究是科技创新的总源头. [2019-03-11]. http://tv.people.com.cn/n1/2019/0311/c425653-30969133.html.

6 The Nobel Prize in Chemistry 2019.They created a rechargeable world. [2019-11-19]. https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry.

7 The Nobel Prize in Physics 2007. [2019-11-19]. https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2007/fert/facts.

8 姜澎. 诺奖物理学奖获得者持续突破理论和应用的瓶颈，蓝光LED：照明技术革命性变化. [2014-10-08]. http://www.cas.cn/zt/sszt/2014nbe/wlxj/201410/t20141008_4219318.shtml.

9 中科院物理所. 2019诺贝尔化学奖颁给锂电池领域，「足够好」顺带打破诺奖最高龄得奖记录. [2019-10-09]. https://mp.weixin.qq.com/s/BkspyWucI6wSgTij6J_kIA.

10 中财网. 日媒：在这一领域，中日韩三分天下. [2019-10-15]. http://www.cfi.net.cn/p20191015000019.html.

11 中国电子信息产业发展研究院. 锂离子电池产业发展白皮书（2019年）. [2019-07-15]. http://www.evhui.com/90594.html?goto=comment.

12 万钢. 转型升级时代，中国新能源汽车之路. [2019-01-17]. http://www.sohu.com/a/289831053_560178.

13 张慧琴, 平婧, 孙昌璞. 分类支持基础研究，促进全链条颠覆性技术创新. 中国工程科学, 2018, 20(6): 32-34.

# Case Study of Lithium-ion Battery Research of Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences: On Model of Whole-chain Innovation of National Research Organization of China

WEN Ya* HUANG Xuejie ZHU Chunli

（Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China）

**Abstract** The whole-chain Innovation experience from basic research to industrialization is a long period process, involving many core key technologies, which is an important way for the innovation-driven economy development of China. However, to cover the whole-chain period, and the spin-off process from research to industrialization, involving technology, market, evaluation, talents and many other factors, is complex and filled with challenges. Research and industrialization of lithium-ion battery technology is one of the typical examples. In the past four decades, the Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences has carried out many high quality basic research and exploration of industrialization in the whole chain innovation of Lithium battery.

**Keywords** lithium-ion battery, basic research, industrialization, talent cultivation



**文 亚** 中国科学院物理研究所党委书记、副所长，研究员；广东省松山湖材料实验室副理事长；西安市政府科技顾问；国家重大科技基础设施“综合极端条件实验装置”常务副总经理。曾主持科学技术部、国家自然科学基金委、中国科协等管理与政策研究项目9项，参与《国家中长期科技规划纲要》相关评估、国家科研基地战略规划、国家重大科技基础设施开放共享研究、国家自然科学基金发展战略研究等工作。E-mail: ywen@iphy.ac.cn

**WEN Ya** Professor, Deputy Director of the Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences (CAS), Vice Chairman of the board of directors of Songshan Lake Materials Lab of Guangdong, Science and Technology Consultant of City Government of Xi’an. Deputy General Manager of Synergetic Extreme Condition User Facility. Manager of 9 research projects sponsored by Ministry of Science and Technology of the People’s Republic of China (MOST), National Natural Science Foundation of China (NSFC), and China Association for Science and Technology (CAST), participated in some polices drafting and program planning of the government. E-mail: ywen@iphy.ac.cn

■责任编辑：文彦杰

* Corresponding author

## 参考文献（双语版）


1 艾媒前沿科技产业研究中心. 2019全球及中国汽车动力电池行业研究与商业投资决策分析报告. [2019-05-06]. https://www.iimedia.cn/c400/64257.html.
iiMedia Frontier Technology Industry Research Center. 2019 Global and China automotive power battery industry research and business investment decision analysis report. [2019-05-06]. https://www.iimedia.cn/c400/64257.html. (in Chinese)

2 胡卫. 以全链条创新推进自主创新. 创新科技, 2010, (10): 26-27.
Hu W. Independent innovation driven by full chain innovation. Innovation Science and Technology, 2010, (10): 26-27. (in Chinese)

3 习近平. 在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上的讲话. 人民日报, 2018-05-29.
Xi J P. Speech at the 19th Academician Conference of the Chinese Academy of Sciences and the 14th Academician Conference of the Chinese Academy of Engineering. People's Daily, 2018-05-29. (in Chinese)

4 国务院. "十三五"国家科技创新规划. [2016-07-28]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-08/08/content_5098072.htm.
The State Council. The 13th five-year national science and technology innovation plan. [2016-07-28]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-08/08/content_5098072.htm. (in Chinese)

5 王志刚. 基础研究是科技创新的总源头. [2019-03-11]. http://tv.people.com.cn/n1/2019/0311/c425653-30969133.html.
Wang Z G. Basic research is the general source of scientific and technological innovation. [2019-03-11]. http://tv.people.com.cn/n1/2019/0311/c425653-30969133.html. (in Chinese)

6 The Nobel Prize in Chemistry 2019.They created a rechargeable world. [2019-11-19]. https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry.

7 The Nobel Prize in Physics 2007. [2019-11-19]. https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2007/fert/facts.

8 姜澎. 诺奖物理学奖获得者持续突破理论和应用的瓶颈，蓝光LED：照明技术革命性变化. [2014-10-08]. http://www.cas.cn/zt/sszt/2014nbe/wlxj/201410/t20141008_4219318.shtml.
Jiang P. Nobel Prize winner in physics continues to break through the bottleneck of theory and application. Blue LED: revolutionary change of lighting technology. [2014-10-08]. http://www.cas.cn/zt/sszt/2014nbe/wlxj/201410/t20141008_4219318.shtml. (in Chinese)

9 中科院物理所. 2019诺贝尔化学奖颁给锂电池领域，「足够好」顺带打破诺奖最高龄得奖记录. [2019-10-09]. https://mp.weixin.qq.com/s/BkspyWucI6wSgTij6J_kIA.
Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences. The 2019 Nobel Prize in chemistry was awarded to the field of lithium batteries: "Good enough" to break the record of the oldest Nobel Prize winner. [2019-10-09]. https://mp.weixin.qq.com/s/BkspyWucI6wSgTij6J_kIA. (in Chinese)

10 中财网. 日媒：在这一领域，中日韩三分天下. [2019-10-15]. http://www.cfi.net.cn/p20191015000019.html.
CFi.CN. Japanese media: China, Japan and South Korea dominant in this field. [2019-10-15]. http://www.cfi.net.cn/p20191015000019.html. (in Chinese)

11 中国电子信息产业发展研究院. 锂离子电池产业发展白皮书（2019年）. [2019-07-15]. http://www.evhui.com/90594.html?goto=comment.
China Center of Information Industry Development. White Paper on the Development of Lithium-ion Battery Industry (2019). [2019-07-15]. http://www.evhui.com/90594.html?goto=comment. (in Chinese)

12 万钢. 转型升级时代，中国新能源汽车之路. [2019-01-17].

http://www.sohu.com/a/289831053_560178.
Wan G. China's new energy vehicle road in the transformation era. [2019-01-17]. http://www.sohu.com/a/289831053_560178. (in Chinese)

13 张慧琴, 平婧, 孙昌璞. 分类支持基础研究，促进全链条颠覆性技术创新. 中国工程科学, 2018, 20(6): 32-34.
Zhang H Q, Ping J, Sun C P. Supporting basic research by classification to promote whole-chain disruptive technology innovation. Strategic Study of CAE, 2018, 20(6): 24-26. (in Chinese)